

I-265

信頼性理論にもとづく許容応力度の割増し係数の評価

三菱重工(株) 正員 麻生真也
早稲田大学 学生員 津野和宏
早稲田大学 正員 依田照彦

1. まえがき

本報告は、現行の道路橋示方書に見られる、荷重の組合せ時の安全性レベルの調整の機能を持つ、許容応力度の割増し係数の確率論的評価を行ったものである。この割増し係数は、発生頻度の低い荷重の組合せに対して常時と同じ安全率を用いるのは不合理だという理由で導入されているとされている¹⁾。その値は理論的な意味付けや根拠に乏しいものの、永年の技術者の経験等に基づいており、ある程度の信頼性を有するものと考えられる。ここでは、割増し係数は、(1)組合せ荷重による荷重効果を供用期間最大値分布のP%(本研究では、P=10)超過確率値にそろえる、(2)荷重の組合せ時の信頼性レベルを整えるために安全率を調整する、という役割を持つと考え、信頼性理論の観点からこの値を検討している。

2. 解析方法

常時における現行の設計照査式を式(1)とするならば、荷重の組合せ時の照査式は式(2)と理解できる(ν :安全率)。

$$R^* \nu \geq S^* \quad (R^*: \text{設計強度}, S^*: \text{設計荷重による荷重効果}) \quad (1)$$

$$(\alpha R^*) / \nu \geq S^* \quad (\alpha: \text{割り増し係数}) \quad (2)$$

現行の道路橋の S^* は、荷重効果の供用期間最大値分布の10%超過確率値によく一致するといわれているが、荷重の組合せ時にはこれらを加算的に処理するため、その値は超過確率の十分小さいものになっているものと思われる²⁾。したがって、荷重の組合せ時に荷重効果を供用期間最大値分布の10%超過確率値 X_1 に低減させる係数を α とするならば、 α は式(3)に示すようになる。

$$\alpha = S^* / X_1 \quad (3)$$

X_1 は、図1に示すように荷重効果の確率密度関数を合成することにより定まるが、荷重効果が極値分布である場合、この合成は困難であるので、図2に示すような確率空間を考えて算出する。この方法は、 X 、 Y 軸にそれぞれ考慮する荷重効果の供用期間最大値分布を考え、 dX 、 dY の生起確率を P_x, P_y とすれば、微小平面 $dX-dY$ の生起確率は $P_x P_y$ である。したがって、 $X+Y > x_1$ をみたす微小平面の総和は、組合せ荷重 x の超過確率とみなすことができる。ここでは、 X 、 Y の積分区間を1000分割し、生起確率の総和が、0.1となる x_1 の値を供用期間最大値分布の10%超過確率値とした。積分方法は台形近似とし、計算に用いたデータは表1に示す通りである。このデータはラーメン橋、トラス橋の設計例をもとにしており、分布形、変動係数は一般的なものを使用している。なお、確率変数が3つの場合の分割数は、それぞれ100分割とした。

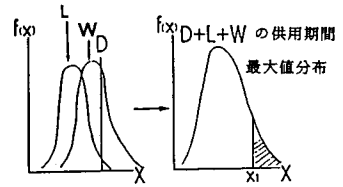
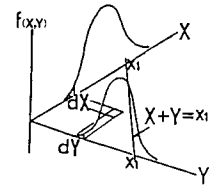
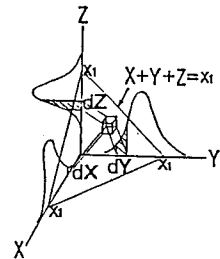


図1 荷重の組合せ時の供用期間最大値分布



a) (D+L+T), (D+L+W) の場合



b) (D+L+T+W), (D+L+T+E) の場合

図2 確率空間

表1 計算に用いるパラメータ

	死荷重D	活荷重L	温度荷重T	風荷重W	地震荷重E
設計荷重による荷重効果	10.0	9.37	6.71	10.7	7.19
分布形	確定値	極値I型	極値I型	極値I型	極値III型
荷重効果の平均値	10.0	8.80	6.00	9.80	5.30
変動係数	—	0.15	0.1,0.2,0.3	0.1,0.2,0.3	0.5,0.6,0.7

次に、組合せ荷重による荷重効果を供用期間最大値分布の10%超過確率値に設定した上で、なお信頼性のレベルを整えるために安全率を低減させる必要があると考え、その低減係数を $\alpha 2$ とする。 $R-S < 0$ を限界状態と定義し、 R および S の分布形を正規分布で近似できるならば、限界状態確率 Pf は次のようになる。

$$Pf = \Phi(u) \quad \text{ただし、} u = (\mu_S - \mu_R) / \sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_R^2} \quad (4)$$

(μ_S, μ_R : S, R の平均値、 σ_S, σ_R : S, R の標準偏差)

さらに、 S^* および R^* が、供用期間最大値分布の10%超過確率値および5%非超過確率値に設定されているならば、式(4)の u は次のように誘導できる(γ : 中央安全率)。

$$u = -(\gamma - 1) \{ 1.28\nu(\sigma_S/\sigma_R) + 1.64 \} / (\gamma - \nu) \sqrt{(\sigma_S/\sigma_R)^2 + 1} \quad (5)$$

図3より σ_S/σ_R が大きくなれば u は一定値に近づき、 Pf も一定値に近づくことが分かる。この Pf を目標値として値を決めれば、この目標値が確保された状態での γ と ν の関係が定まる。 μ_R は荷重の組合せに拘らず不変であるから、常時($\nu=1.7$)より求め、図4より荷重の組合せ時の ν を求める。従って、 $\alpha 2$ は次の式より定まる。

$$\nu = 1.7 / \alpha 2 \quad (6)$$

3. 解析結果および考察

$\alpha 1, \alpha 2$ を使うと荷重の組合せ時の設計照査式は次のように書ける。

$$R^* / (\nu / \alpha 2) \geq S^* / \alpha 1 \quad (7)$$

式(7)を式(2)と比較すると現行の割増し係数は、 $\alpha 1 * \alpha 2$ とみなせる。したがって、 $\alpha 1, \alpha 2$ の計算結果を用いて、それぞれの荷重の組合せ時の α を算出し、結果を図6に示す。その結果、現行の割増し係数は、温度変化および暴風時については、 Pf の目標値を常時 10^{-3} 、荷重の組合せ時 10^{-3} としたとき、および常時 10^{-5} 、荷重の組合せ時 10^{-7} としたときに近い値となった。このことは、常時における信頼性レベルが低いときには荷重の組合せ時も常時と同程度の信頼性が確保され、常時の信頼性が高くなれば、荷重組合せ時の方が安全になることを示唆している。一方、地震時については、 Pf の目標値を常時 10^{-7} 、荷重組合せ時 10^{-3} としたとき、現行の割増し係数に最も近い値となり、経済的な配慮が多分になされていると解釈できる。

参考文献

- 1) 杉山俊幸：許容応力度の割増し係数に関する確率論的考察、第40回年次講演会概要集 I-124、1985
- 2) 千阪貞昭・白木渡・高岡宣善：荷重組合せ係数の確率論的決定法、第36回年次講演会概要集 I-321、1981

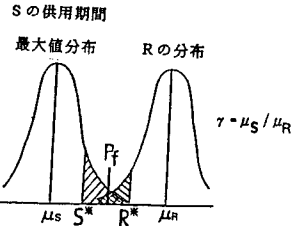


図3 SおよびRの分布

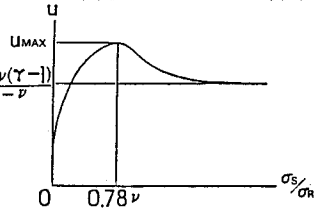


図4 u と σ_S/σ_R の関係

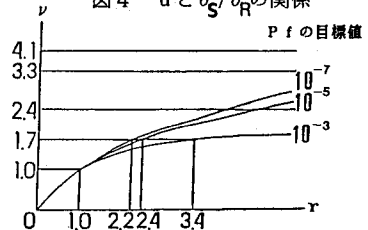


図5 ν と γ の関係

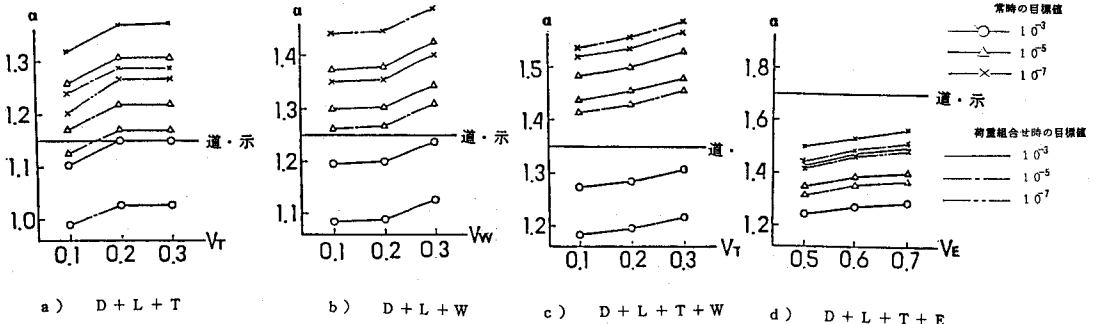


図6 割増し係数($\alpha 1 * \alpha 2$)と変動係数の関係